

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

#### Nghịch lưu một pha kiểu bán cầu (Half bridge inverter)

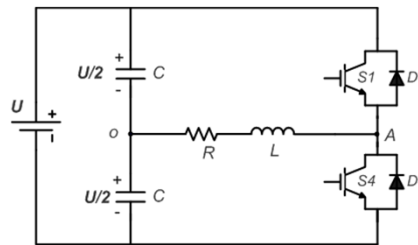
Xét mạch nghịch lưu một pha kiểu bán cầu như hình.

Giả thiết hai tụ lọc C đủ lớn để điện áp trên mỗi tụ là  $U/2$  được giữ không đổi trong quá trình bộ nghịch lưu hoạt động.

Việc điều khiển các khoá bán dẫn S1 và S4 thực hiện bằng cách so sánh giữa *sóng điều khiển* (hoặc tín hiệu điều chế - modulating signal)  $u_{control}$  dạng sin và *sóng mang* (carrier signal)  $u_{tri}$  dạng tam giác:

$$u_{control} > u_{tri} \quad S1 \text{ ON} \quad u_{Ao} = \frac{1}{2}U$$

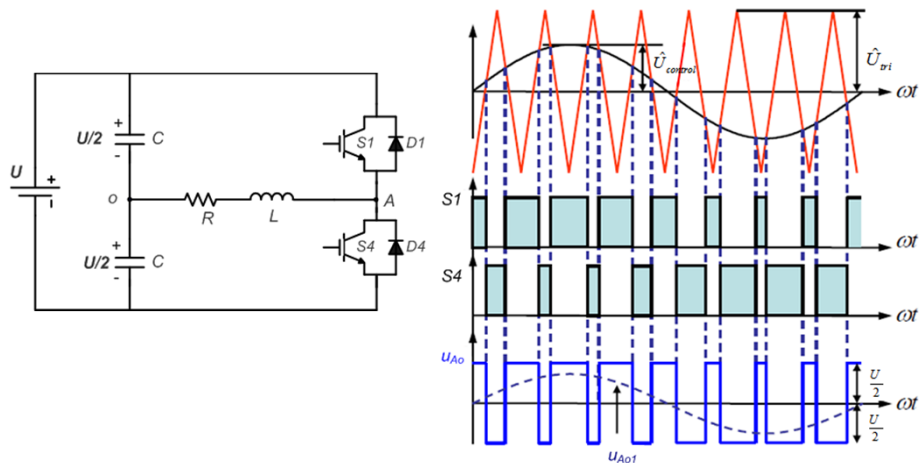
$$u_{control} < u_{tri} \quad S4 \text{ ON} \quad u_{Ao} = -\frac{1}{2}U$$



30

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu



31

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

Tỉ số điều chế biên độ (Amplitude modulation ratio)  $m_a$  được định nghĩa là :

$$m_a = \frac{\hat{U}_{control}}{\hat{U}_{tri}}$$

Trong đó:

$\hat{U}_{control}$  : biên độ sóng điều khiển  $u_{control}$

$\hat{U}_{tri}$  : biên độ sóng mang  $u_{tri}$

Tỉ số điều chế tần số (Frequency modulation ratio)  $m_f$  được định nghĩa là:

$$m_f = \frac{f_s}{f_1}$$

Trong đó:

$f_s$  : tần số sóng mang  $u_{tri}$  hoặc còn gọi là *tần số đóng cắt (switching frequency)*

$f_1$  : tần số sóng điều khiển  $u_{control}$

32

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

Với cách đóng ngắt các khoá bán dẫn như đề cập ở trên, dạng sóng điện áp ngõ ra  $u_{Ao}$  thay đổi giữa 2 giá trị:  $\frac{1}{2}U$  và  $-\frac{1}{2}U$ .

Xét trong một chu kỳ  $T_s$  ( $T_s = 1/f_s$ ) của sóng mang, nếu sóng điều khiển  $u_{control}$  biến thiên chậm hơn nhiều so với sóng mang  $u_{tri}$  thì có thể xem  $u_{control}$  là không đổi trong khoảng thời gian này. Như vậy, giá trị trung bình của điện áp ngõ ra  $U_{Ao}$  trong một chu kỳ  $T_s$  sẽ là:

$$U_{Ao} = \frac{u_{control}}{\hat{U}_{tri}} \frac{U}{2} \quad (u_{control} \leq \hat{U}_{tri})$$

33

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

Từ đây, nếu chọn sóng điều khiển có dạng:

$$u_{control} = \hat{U}_{control} \sin \omega t \quad (\hat{U}_{control} \leq \hat{U}_{tri})$$

Thì có thể suy ra thành phần hài cơ bản (bậc 1)  $(u_{Ao})_1$  của điện áp ngõ ra  $u_{Ao}$  sẽ có biểu thức là:

$$(u_{Ao})_1 = \frac{\hat{U}_{control}}{\hat{U}_{tri}} \frac{\sin \omega t}{2} \frac{U}{2} = m_a \frac{U}{2} \sin \omega t \quad (m_a = \frac{\hat{U}_{control}}{\hat{U}_{tri}} \leq 1)$$

Như vậy, **biên độ hài cơ bản** của điện áp ngõ ra  $u_{Ao}$  xác định bởi:

$$(\hat{U}_{Ao})_1 = m_a \frac{U}{2}$$

**Tần số của hài cơ bản** của điện áp ngõ ra  $u_{Ao}$  là tần số sóng điều khiển  $u_{control}$ .

Với phương pháp điều rộng xung sin (sinusoidal PWM), **biên độ và tần số của hài cơ bản của điện áp ngõ ra có thể được điều khiển qua biên độ và tần số của sóng điều khiển  $u_{control}$ .**

Ngoài ra, khi  $m_a \leq 1$ , **biên độ hài cơ bản của điện áp ngõ ra tỉ lệ tuyến tính với  $m_a$ .**

34

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

#### Sóng hài:

Gọi  $f_1$  là tần số của sóng điều khiển  $u_{control}$ . Đây cũng là tần số của hài cơ bản của  $u_{Ao}$ .

Với  $m_a \leq 1$ , có thể chứng minh được các **hài bậc cao** trong điện áp  $u_{Ao}$  xuất hiện quanh các tần số  $m_f f_1, 2m_f f_1, 3m_f f_1, \dots$ . Ngoài ra, với  $m_f \geq 9$ , **biên độ sóng hài hầu như không phụ thuộc vào tỉ số điều chế tần số  $m_f$  mà chỉ phụ thuộc vào tỉ số điều chế biên độ  $m_a$ .**

Một cách tổng quát, sóng hài xuất hiện ở các tần số:

$$f_h = (jm_f \pm k)f_1$$

Nghĩa là với tỉ số điều chế tần số  $m_f$  đã biết, bậc của sóng hài  $h$  tính bởi công thức:

$$h = jm_f \pm k$$

Trong đó, nếu **j là số lẻ thì k là số chẵn và ngược lại**. Ví dụ, nếu  $j = 1$  thì  $k = \pm 2, \pm 4, \dots$ , và nếu  $j = 2$  thì  $k = \pm 1, \pm 3, \dots$ .

35

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

**Bảng 4.1: Bộ nghịch lưu kiểu bán cầu**

Biên độ một số giá trị sóng hài (tính bằng  $(\hat{U}_{Ao})_h / \frac{1}{2}U$ ) theo  $m_a$  (giả thiết là  $m_f \geq 9$ ):

$h \backslash m_a$	0.2	0.4	0.6	0.8	1
<b>Hài cơ bản (bậc 1)</b>	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$m_f$	1.242	1.15	1.006	0.818	0.601
$m_f \pm 2$	0.016	0.061	0.131	0.220	0.318
$m_f \pm 4$					0.018
$2m_f \pm 1$	0.190	0.326	0.370	0.314	0.181
$2m_f \pm 3$		0.024	0.071	0.139	0.212
$2m_f \pm 5$				0.013	0.033

Trong đó:  $(\hat{U}_{Ao})_h$  là biên độ sóng hài bậc  $h$  trong điện áp  $u_{Ao}$ .

36

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

**Bảng 4.1: Bộ nghịch lưu kiểu bán cầu (t-t)**

Biên độ một số giá trị sóng hài (tính bằng  $(\hat{U}_{Ao})_h / \frac{1}{2}U$ ) theo  $m_a$  (giả thiết là  $m_f \geq 9$ ):

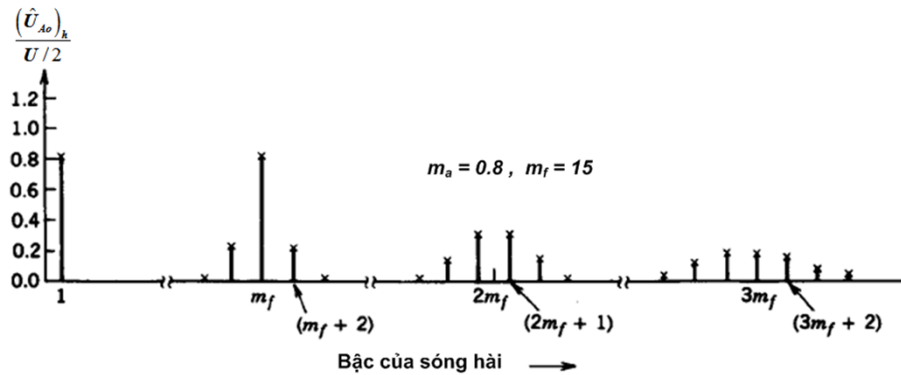
$h \backslash m_a$	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$3m_f$	0.335	0.123	0.083	0.171	0.113
$3m_f \pm 2$	0.044	0.139	0.203	0.176	0.062
$3m_f \pm 4$		0.012	0.047	0.104	0.157
$3m_f \pm 6$				0.016	0.044
$4m_f \pm 1$	0.163	0.157	0.008	0.105	0.068
$4m_f \pm 3$	0.012	0.070	0.132	0.115	0.009
$4m_f \pm 5$			0.034	0.084	0.119
$4m_f \pm 7$				0.017	0.050

Trong đó:  $(\hat{U}_{Ao})_h$  là biên độ sóng hài bậc  $h$  trong điện áp  $u_{Ao}$ .

37

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu



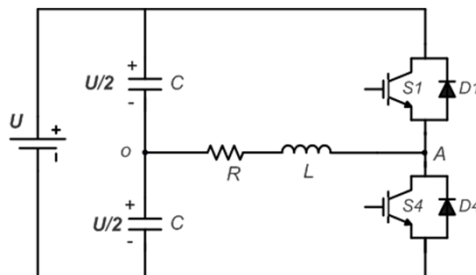
Tăng  $m_f \rightarrow$  tăng giá trị tần số các sóng hài  $\rightarrow$  dễ lọc các sóng hài hơn.  
Điểm bất lợi của việc tăng tần số sóng mang là vấn đề tổn hao do đóng ngắt lớn.

38

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

**Ví dụ:** Xét mạch nghịch lưu như hình. Biết  $U = 300V$ ,  $m_a = 0.8$ ,  $m_f = 39$ , tần số sóng điều khiển là  $f_1 = 50Hz$ . Tính giá trị hiệu dụng hài cơ bản và các sóng hài chính trong điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu.



39

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

**Giải:**

Từ bảng đã cho, suy ra cách tính giá trị hiệu dụng của sóng hài bậc h là:

$$(U_{Ao})_h = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{U}{2} \frac{(\hat{U}_{Ao})_h}{U/2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{300}{2} \frac{(\hat{U}_{Ao})_h}{U/2} = 106.07 \frac{(\hat{U}_{Ao})_h}{U/2}$$

Tra bảng, ta tính được trị hiệu dụng một số sóng hài là:

$(U_{Ao})_1 = 106.7 \times 0.8 = 84.86 \text{ V}$	tại 50Hz
$(U_{Ao})_{37} = 106.7 \times 0.22 = 23.33 \text{ V}$	tại 1850Hz
$(U_{Ao})_{39} = 106.7 \times 0.818 = 86.76 \text{ V}$	tại 1950Hz
$(U_{Ao})_{41} = 106.7 \times 0.22 = 23.33 \text{ V}$	tại 2050Hz
$(U_{Ao})_{77} = 106.7 \times 0.314 = 33.31 \text{ V}$	tại 3850Hz
$(U_{Ao})_{79} = 106.7 \times 0.314 = 33.31 \text{ V}$	tại 3950Hz

40

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

**Một số lưu ý khác:**

- $m_f$  nên chọn là số lẻ  $\rightarrow$  chỉ tồn tại các sóng hài bậc lẻ trong điện áp ngõ ra
- Với  $m_f \leq 21$ , cần thiết phải đồng bộ giữa sóng điều khiển  $u_{control}$  và sóng mang  $u_{tri}$ , nghĩa là tần số sóng mang  $f_s$  phải là bội số nguyên của tần số sóng điều khiển  $f_i$  để tránh xuất hiện các sóng hài tần số thấp (subharmonics) không có lợi trong hầu hết các ứng dụng. Ví dụ, nếu  $f_i = 20.5\text{Hz}$  và  $m_f = 15$ , tần số của sóng điều chế cần thiết là  $f_s = 20.5 \times 15 = 307.5 \text{ Hz}$
- Với giá trị  $m_f$  lớn ( $m_f > 21$ ), giá trị các họa tần bậc thấp không đáng kể, nên có thể không cần đồng bộ giữa sóng điều khiển  $u_{control}$  và sóng mang  $u_{tri}$ . Tuy nhiên, trong những ứng dụng điều khiển động cơ xoay chiều, sóng hài tần số rất thấp (gần zero) có thể gây ra dòng lớn ngay cả khi có biên độ rất nhỏ. Vì vậy, nên tránh điều chế không đồng bộ giữa sóng điều khiển và sóng mang.

41

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

#### Vấn đề quá điều chế (Overmodulation):

Quá điều chế xảy ra khi  $m_a > 1$ , lúc này quan hệ giữa  $m_a$  và biên độ sóng hài bậc 1 của điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu sẽ không còn tuyến tính nữa, và sẽ xuất hiện các sóng hài bậc thấp: 3, 5, 7 v.v...

Tùy theo giá trị của  $m_a$ , biên độ sóng hài bậc 1 của áp ra nghịch lưu biến thiên trong khoảng:

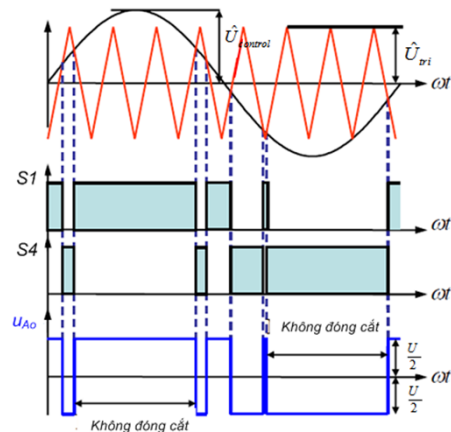
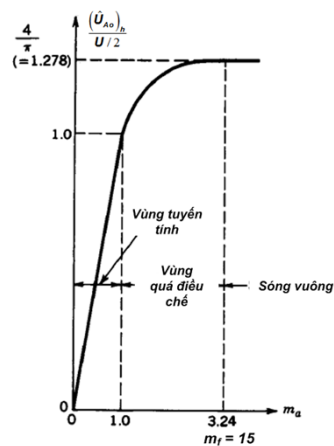
$$\frac{U}{2} \leq (\hat{U}_{Ao})_1 \leq \frac{4}{\pi} \frac{U}{2} = \frac{2U}{\pi} \quad m_a > 1$$

42

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu

#### Vấn đề quá điều chế (Overmodulation)



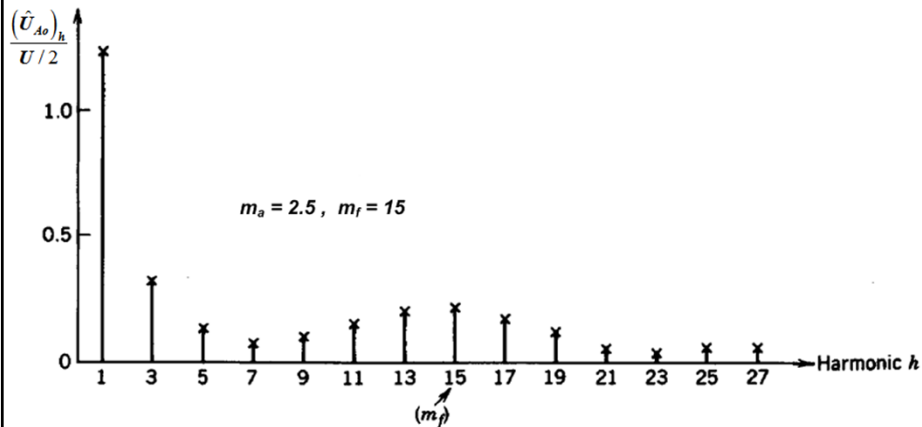
Dạng sóng trong trường hợp quá điều chế

Quan hệ giữa hài bậc 1 điện áp ngõ ra và tỉ số điều chế biên độ  $m_a$

43

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Bộ nghịch lưu 1 pha kiểu bán cầu



Phổ tần sóng hài của điện áp ngõ ra trong trường hợp quá điều chế

44

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

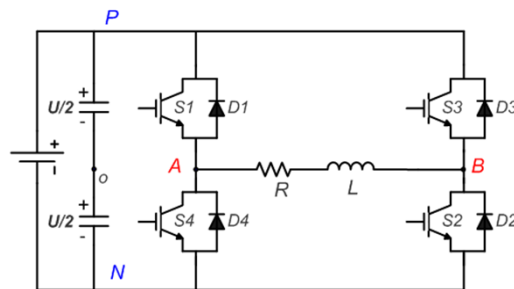
### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu

Bộ nghịch lưu một pha kiểu cầu có sơ đồ như hình.

Nếu gọi điểm  $o$  là điểm giữa của nguồn một chiều  $U$  (điểm này có thể không tồn tại thực tế, chỉ sử dụng cho việc phân tích mạch), có thể xem là bộ nghịch lưu cầu được tạo bởi hai bộ nghịch lưu kiểu bán cầu với điện áp ngõ ra lần lượt là  $u_{A0}$  và  $u_{B0}$ .

Điện áp ngõ ra  $u_o$  của bộ nghịch lưu:

$$u_o = u_{A0} - u_{B0}$$



45

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu

Có hai cách điều chế cho bộ nghịch lưu một pha kiểu cầu:

- PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực (Bipolar Voltage Switching)
- PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực (Unipolar Voltage Switching)

46

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực

Với kiểu điều chế này, một sóng điều khiển  $u_{control}$  được sử dụng để so sánh với sóng mang  $u_{tri}$ . Các khoá bán dẫn được đóng ngắt theo từng cặp: (S1, S2) và (S3, S4), và ngược pha nhau:

$$u_{control} > u_{tri} \quad S1, S2 \text{ ON} \quad S3, S4 \text{ OFF}$$

$$u_{control} < u_{tri} \quad S1, S2 \text{ OFF} \quad S3, S4 \text{ ON}$$

Do đó:

$$u_{Ao} = -u_{Bo}$$

Điện áp ngõ ra  $u_o$  của bộ nghịch lưu:

$$u_o = u_{Ao} - u_{Bo} = 2u_{Ao}$$

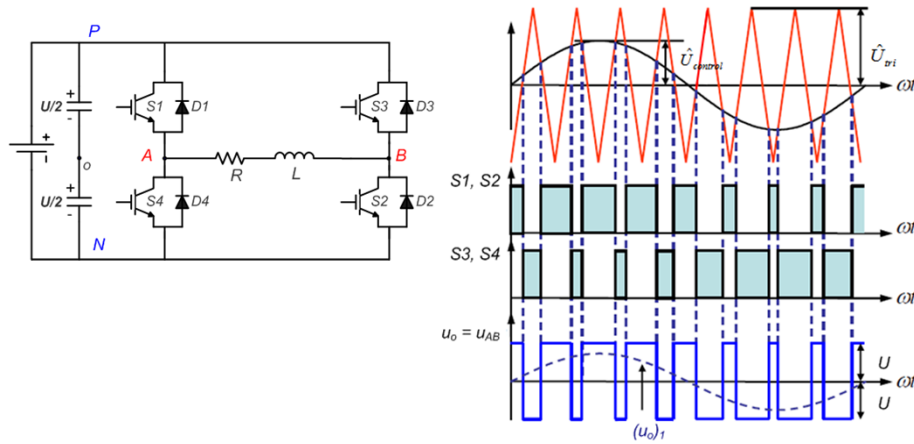
Như vậy, có thể áp dụng các phân tích nêu trong phần mạch nghịch lưu kiểu bán cầu để phân tích dạng sóng điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu cầu. Theo biểu thức trên, điện áp hài bậc 1 và các hài bậc cao hơn trong trường hợp này sẽ có giá trị gấp đôi so với kết quả đã nêu trong phần mạch nghịch lưu kiểu bán cầu:

$$\hat{U}_{o1} = 2(\hat{U}_{Ao})_1 = m_a U \quad (m_a \leq 1)$$

47

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

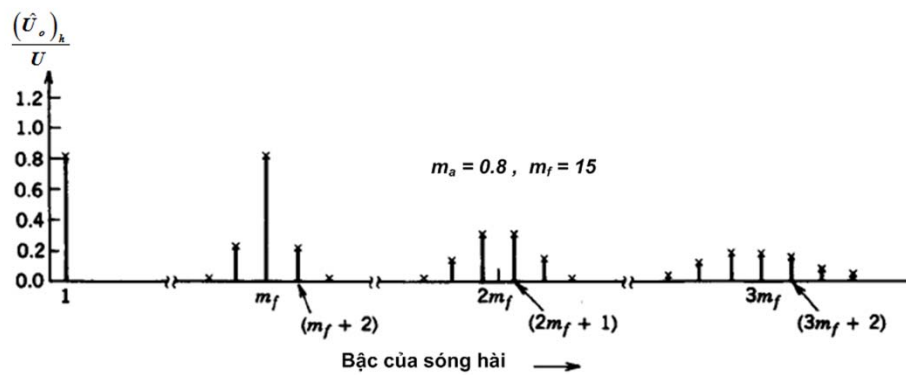
Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực



48

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực



Phổ tần sóng hài của điện áp ngõ ra

49

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực

**Bảng 4.2: Bộ nghịch lưu kiểu cầu**

Biên độ một số giá trị sóng hài (tính bằng  $(\hat{U}_o)_h/U$ ) theo  $m_a$  (giả thiết là  $m_f \geq 9$ ):

$m_a \backslash h$	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Hài cơ bản (bậc 1)	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$m_f$	1.242	1.15	1.006	0.818	0.601
$m_f \pm 2$	0.016	0.061	0.131	0.220	0.318
$m_f \pm 4$					0.018
$2m_f \pm 1$	0.190	0.326	0.370	0.314	0.181
$2m_f \pm 3$		0.024	0.071	0.139	0.212
$2m_f \pm 5$				0.013	0.033

Trong đó:  $(\hat{U}_o)_h$  là biên độ sóng hài bậc  $h$  trong điện áp ngõ ra  $u_o$ .

50

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực

**Bảng 4.2: Bộ nghịch lưu kiểu cầu (t-t)**

Biên độ một số giá trị sóng hài (tính bằng  $(\hat{U}_o)_h/U$ ) theo  $m_a$  (giả thiết là  $m_f \geq 9$ ):

$m_a \backslash h$	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$3m_f$	0.335	0.123	0.083	0.171	0.113
$3m_f \pm 2$	0.044	0.139	0.203	0.176	0.062
$3m_f \pm 4$		0.012	0.047	0.104	0.157
$3m_f \pm 6$				0.016	0.044
$4m_f \pm 1$	0.163	0.157	0.008	0.105	0.068
$4m_f \pm 3$	0.012	0.070	0.132	0.115	0.009
$4m_f \pm 5$			0.034	0.084	0.119
$4m_f \pm 7$				0.017	0.050

Trong đó:  $(\hat{U}_o)_h$  là biên độ sóng hài bậc  $h$  trong điện áp ngõ ra  $u_o$ .

51

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực

Biên độ hài bậc 1 trong vùng điều chế tuyến tính ( $m_a \leq 1$ ):

$$\hat{U}_{o1} = m_a U$$

Biên độ hài bậc 1 trong vùng quá điều chế ( $m_a > 1$ )

$$U \leq \hat{U}_{o1} \leq \frac{4}{\pi} U$$

Điện áp ngõ ra  $u_o$  thay đổi giữa hai mức +U và -U. Đây là lý do khiến tên gọi của phương pháp điều khiển là điều chế PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực.

52

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực

**Ví dụ:** Xét mạch nghịch lưu một pha cầu như hình, điều khiển theo phương pháp PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực. Biết  $U = 300V$ ,  $m_a = 0.8$ ,  $m_f = 39$ , tần số sóng điều khiển là 50Hz. Tính giá trị hiệu dụng hài cơ bản và các sóng hài chính trong điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu.

53

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

**Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt lưỡng cực**

**Giải:**

Xem bảng 4.2, có thể suy ra biểu thức tính trị hiệu dụng các sóng hài của điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu như sau:

$$(U_o)_h = \frac{1}{\sqrt{2}} U \frac{(\hat{U}_o)_h}{U} = \frac{1}{\sqrt{2}} 300 \frac{(\hat{U}_o)_h}{U} = 212.14 \frac{(\hat{U}_o)_h}{U}$$

Tra bảng, ta tính được trị hiệu dụng sóng hài cơ bản và một số sóng hài chính là:

$$(U_o)_1 = 212.14 \times 0.8 = 169.7 \text{ V} \quad \text{tại } 50\text{Hz}$$

$$(U_o)_{37} = 212.14 \times 0.22 = 46.67 \text{ V} \quad \text{tại } 1850\text{Hz}$$

$$(U_o)_{39} = 212.14 \times 0.818 = 173.52 \text{ V} \quad \text{tại } 1950\text{Hz}$$

$$(U_o)_{41} = 212.14 \times 0.22 = 46.67 \text{ V} \quad \text{tại } 2050\text{Hz}$$

$$(U_o)_{77} = 212.14 \times 0.314 = 66.62 \text{ V} \quad \text{tại } 3850\text{Hz}$$

$$(U_o)_{79} = 212.14 \times 0.314 = 66.62 \text{ V} \quad \text{tại } 3950\text{Hz}$$

54

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

**Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực**

Với phương pháp điều chế này, hai nhánh cầu của bộ nghịch lưu sẽ được điều khiển riêng biệt.

Nhánh A sẽ được đóng cắt bằng cách so sánh điện áp điều khiển  $u_{control}$  với sóng mang  $u_{tri}$ , và nhánh B sẽ được đóng cắt bằng cách so sánh điện áp điều khiển  $-u_{control}$  với sóng mang  $u_{tri}$ .

$$u_{control} > u_{tri} \quad S1 \text{ ON} \quad S4 \text{ OFF}$$

$$u_{control} < u_{tri} \quad S1 \text{ OFF} \quad S4 \text{ ON}$$

Tương tự:

$$-u_{control} > u_{tri} \quad S3 \text{ ON} \quad S2 \text{ OFF}$$

$$-u_{control} < u_{tri} \quad S3 \text{ OFF} \quad S2 \text{ ON}$$

Dạng sóng điện áp ngõ ra như hình.

Điện áp ngõ ra  $u_o$  của bộ nghịch lưu:

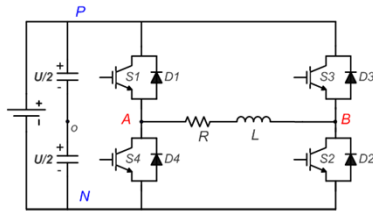
$$u_o = u_{Ao} - u_{Bo}$$

Điện áp ngõ ra  $u_o$  đóng ngắt quanh giá trị  $U$  và  $0$  hoặc  $-U$  và  $0$ , kết quả là tần số đóng ngắt của điện áp ra  $u_o$  có thể xem là **gấp đôi tần số đóng ngắt của mỗi nhánh cầu**.

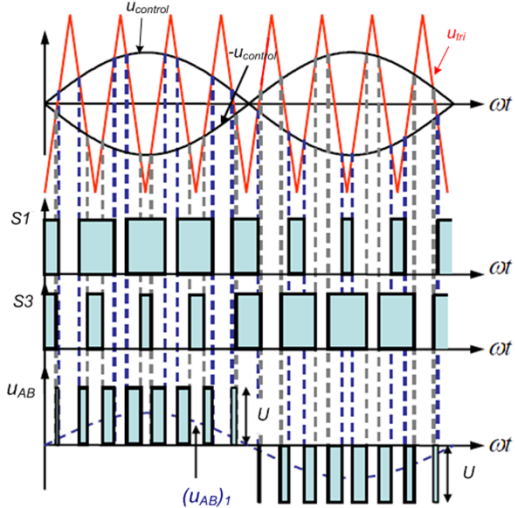
55

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực



Lưu ý: để đơn giản, trên hình chỉ vẽ dạng sóng điều khiển S1, S3. Dạng sóng điều khiển S4 là **ngược đảo** của dạng sóng S1, và dạng sóng S2 là **ngược đảo** của S3.



56

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực

Nếu ta chọn tỉ số điều chế tần số  $m_f$  là **số chẵn**, bậc h của sóng hài tại lân cận tần số  $m_f$  và bội số lẻ của  $m_f$  sẽ là **số chẵn** vì:

$$h = jm_f \pm k \quad (j \text{ lẻ và } k \text{ chẵn} \rightarrow h \text{ chẵn})$$

Do sóng điều khiển cho nhánh A và nhánh B ngược pha nhau nên với hài bậc h, ta có:

$$(u_{Ao})_h = \hat{U}_h \sin(h\omega_1 t)$$

$$(u_{Bo})_h = \hat{U}_h \sin(h\omega_1 t - \pi)$$

Khi h là số chẵn, các sóng hài bậc h trong điện áp  $u_{Ao}$  và  $u_{Bo}$  sẽ đồng pha với nhau. Do đó, trong điện áp ngõ ra  $u_o = u_{Ao} - u_{Bo}$ , các sóng hài này sẽ triệt tiêu nhau.

Như vậy, khi chọn  $m_f$  là **số chẵn** các sóng hài lân cận tần số  $m_f$  và bội số lẻ của  $m_f$  sẽ triệt tiêu, và **sóng hài sẽ chỉ xuất hiện ở lân cận các tần số  $2f_s, 4f_s, \dots$**

57

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực

Lưu ý là điện áp ngõ ra  $u_o$  đóng ngắt quanh giá trị  $U_d$  và 0 hoặc  $-U_d$  và 0, kết quả là tần số đóng ngắt của điện áp ra  $u_o$  có thể xem là gấp đôi tần số đóng ngắt của mỗi nhánh cầu.

Nếu ta chọn tỉ số điều chế tần số  $m_f$  là **số chẵn**, các sóng hài tại lân cận tần số  $m_f$  và bội số lẻ của  $m_f$  sẽ đồng pha với nhau, vì:

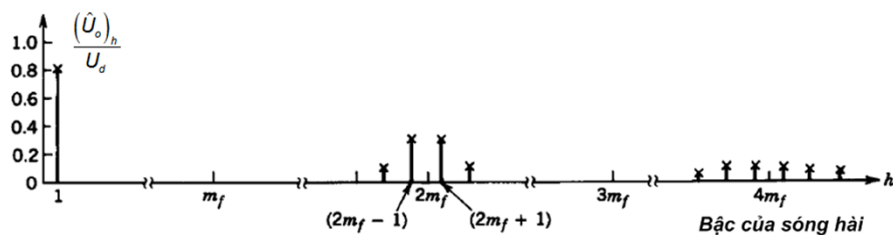
$$h = jm_f \pm k \quad (j \text{ lẻ và } k \text{ chẵn} \rightarrow h \text{ chẵn}) \rightarrow (\Phi_{AN} - \Phi_{BN} = 180^\circ \times h = 0^\circ).$$

Do đó, các trong điện áp ngõ ra  $u_o = u_{AN} - u_{BN}$ , các sóng hài tại lân cận tần số  $m_f$  và bội số lẻ của  $m_f$  sẽ triệt tiêu, như vậy sóng hài sẽ chỉ xuất hiện ở lân cận các tần số  $2f_s$ ,  $4f_s$  v.v...

58

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực



Phổ tần sóng hài của điện áp ngõ ra

59

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực

Do sóng điều khiển cho nhánh A và nhánh B ngược pha nhau nên với hài bậc 1 ở ngõ ra, ta có:

$$(u_{Ao})_1 = -(u_{Bo})_1$$

Và:

$$u_{o1} = (u_{Ao})_1 - (u_{Bo})_1 = 2(u_{Ao})_1$$

Do đó, biên độ hài bậc 1 trong vùng điều chế tuyến tính ( $m_a \leq 1$ ):

$$\hat{U}_{o1} = m_a U$$

Biên độ hài bậc 1 trong vùng quá điều chế ( $m_a > 1$ )

$$U \leq \hat{U}_{o1} \leq \frac{4}{\pi} U$$

Lưu ý là với phương pháp điều chế lưỡng cực đề cập ở trên, với cùng một giá trị của  $m_a$ , phương pháp điều chế đơn cực cho cùng một giá trị của hài bậc 1, nhưng các sóng hài có tần số cao gấp đôi so với phương pháp điều chế lưỡng cực đề cập ở trên → Dễ dàng lọc các sóng hài này.

60

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực

**Ví dụ:** Xét mạch nghịch lưu cầu như hình, điều khiển theo phương pháp PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực. Biết  $U = 300V$ ,  $m_a = 0.8$ ,  $m_f = 38$ , tần số sóng điều khiển là 50Hz. Tính giá trị hiệu dụng hài cơ bản và các sóng hài chính trong điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu.

61

## Bộ nghịch lưu 1 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 1 pha kiểu cầu – PWM với điện áp đóng ngắt đơn cực

**Giải:**

Biểu thức tính trị hiệu dụng các sóng hài của điện áp ngõ ra bộ nghịch lưu có thể suy ra từ bảng 4.2 như sau:

$$(U_o)_h = \frac{1}{\sqrt{2}} U \frac{(\hat{U}_o)_h}{U} = \frac{1}{\sqrt{2}} 300 \frac{(\hat{U}_o)_h}{U} = 212.14 \frac{(\hat{U}_o)_h}{U}$$

Ngoài ra, do  $m_f$  chẵn ( $m_f = 38$ ), sóng hài chỉ xuất hiện tại lân cận  $2m_f, 4m_f$  như phân tích ở trên. Từ đó, ta tính được trị hiệu dụng hài cơ bản và một số sóng hài chính là:

$$\text{Tại } h = 1: \quad (U_o)_1 = 212.14 \times 0.8 = 169.7 \text{ V} \quad (50 \text{ Hz})$$

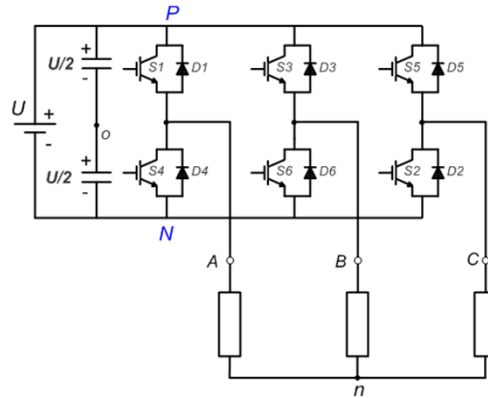
$$\text{Tại } h = 2m_f - 1 = 75: \quad (U_o)_{75} = 212.14 \times 0.314 = 66.62 \text{ V} \quad (3750 \text{ Hz})$$

$$\text{Tại } h = 2m_f + 1 = 77: \quad (U_o)_{77} = 212.14 \times 0.314 = 66.62 \text{ V} \quad (3850 \text{ Hz})$$

62

## Bộ nghịch lưu 3 pha điều khiển kiểu PWM

### Mạch nghịch lưu 3 pha



Cấu hình bộ nghịch lưu áp ba pha thường gặp như hình, trong đó **điểm o** là **điểm giữa của nguồn một chiều U** có thể không tồn tại thực tế và chỉ sử dụng cho việc phân tích mạch.

Có thể xem bộ nghịch lưu này bao gồm 3 nhánh nghịch lưu cơ bản đã khảo sát ở phần trên.

63

## Bộ nghịch lưu 3 pha điều khiển kiểu PWM

Đề ngỏ ra là 3 pha cân bằng, 3 sóng điều khiển  $u_{control,A}$ ,  $u_{control,B}$  và  $u_{control,C}$  được so sánh với cùng một sóng điều chế  $u_{tri}$  để tạo ra xung kích tương ứng cho từng nhánh nghịch lưu A, B và C tương ứng. Trong trường hợp các sóng điều khiển có dạng sine, kiểu điều chế này gọi là sine-PWM.

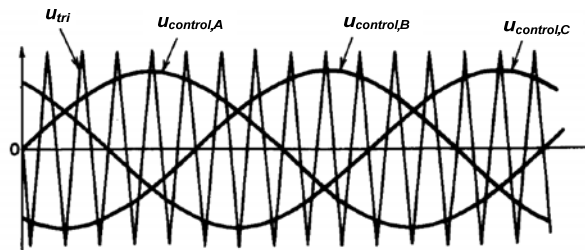
Với nhánh A:

$$u_{control,A} > u_{tri} \quad S1 \text{ ON} \quad S4 \text{ OFF}$$

$$u_{control,A} < u_{tri} \quad S1 \text{ OFF} \quad S4 \text{ ON}$$

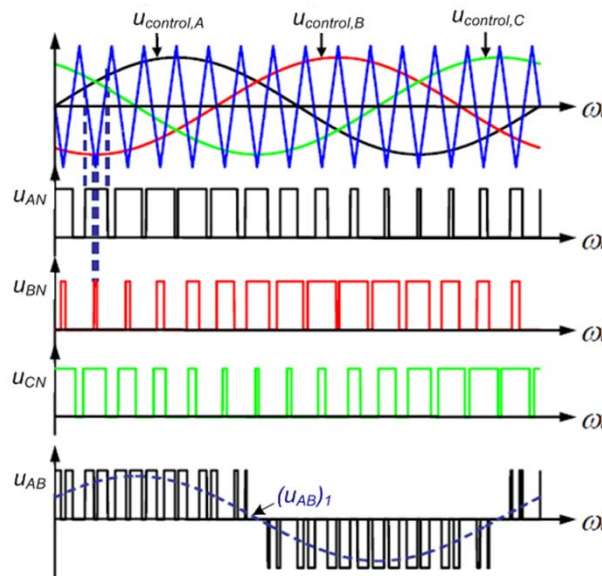
Tương tự với các nhánh còn lại.

Điện áp ra của mỗi nhánh cầu, do đó, chỉ phụ thuộc vào sóng điều khiển tương ứng cho nhánh đó mà không phụ thuộc vào các nhánh còn lại.



64

## Bộ nghịch lưu 3 pha điều khiển kiểu PWM



Dạng điện áp ngõ ra của bộ nghịch lưu 3 pha điều khiển kiểu PWM <sup>65</sup>

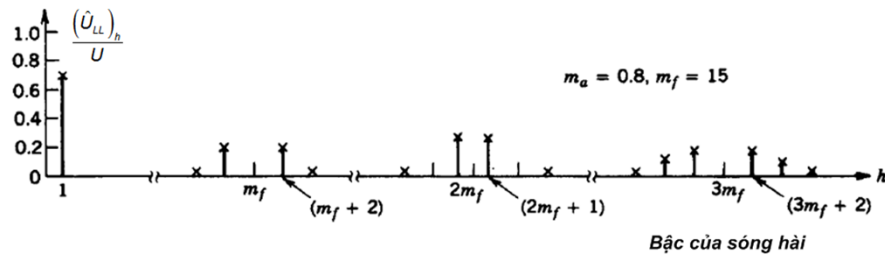
## Bộ nghịch lưu 3 pha điều khiển kiểu PWM

Trong hầu hết các ứng dụng của nghịch lưu áp 3 pha, tải của bộ nghịch lưu là loại 3 pha / 3 dây, do đó, chỉ có điện áp dây và sóng hài trong điện áp dây (line-to-line voltages) là cần tính đến.

Xét điện áp dây ngõ ra của bộ nghịch lưu, ví dụ  $u_{AB}$ , ta có

$$u_{AB} = u_{Ao} - u_{Bo}$$

Lưu ý là do sóng điều khiển  $u_{control}$  của 3 pha lệch nhau  $120^\circ$ , sóng hài bậc  $h$  trong  $u_{Ao}$  và  $u_{Bo}$  sẽ lệch nhau một góc:  $(120 h)^\circ$ . Do đó, nếu chọn  $m_f$  là số lẻ và là bội của 3, các sóng hài bậc  $m_f$  và bội của  $m_f$  sẽ trùng pha nhau và sẽ triệt tiêu trong điện áp dây ở ngõ ra.



Phổ sóng hài của điện áp dây ngõ ra cầu nghịch lưu 3 pha

66

## Bộ nghịch lưu 3 pha điều khiển kiểu PWM

Với  $m_a < 1$ :

**Hài bậc 1 (hài cơ bản):**

Biên độ hài bậc 1 ngõ ra một nhánh cầu nghịch lưu:

$$(\hat{U}_{Ao})_1 = m_a \frac{U}{2}$$

Biên độ hài bậc 1 của điện áp dây ngõ ra bộ nghịch lưu:

$$\hat{U}_{LL} = \sqrt{3} (\hat{U}_{Ao})_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} m_a U$$

Trị hiệu dụng hài bậc 1 của điện áp dây ngõ ra bộ nghịch lưu:

$$U_{LL,rms} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} (\hat{U}_{Ao})_1 = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} m_a U = 0.612 m_a U \quad (m_a \leq 1)$$

67

## Bộ nghịch lưu 3 pha điều khiển kiểu PWM

Với  $m_a < 1$  (t-t):

Các sóng hài khác:

**Bảng 4.3:** Trị hiệu dụng một số giá trị sóng hài của áp dây  $U_{LL}$  (tính bằng  $(U_{LL})_{rms}/U$ )

với các giá trị khác nhau của  $m_a$  (giá thiết là  $m_f$  có giá trị lớn và là bội của 3):

$h$ \ $m_a$	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Hài cơ bản (bậc 1)	0.122	0.245	0.367	0.49	0.612
$m_f \pm 2$	0.010	0.037	0.080	0.135	0.195
$m_f \pm 4$				0.005	0.011
$2m_f \pm 1$	0.116	0.200	0.227	0.192	0.111
$2m_f \pm 5$				0.008	0.020
$3m_f \pm 2$	0.027	0.085	0.124	0.108	0.038
$3m_f \pm 4$		0.007	0.029	0.064	0.096
$4m_f \pm 1$	0.100	0.096	0.005	0.064	0.042
$4m_f \pm 5$			0.021	0.051	0.073
$4m_f \pm 7$				0.010	0.030

68

## Bộ nghịch lưu 3 pha điều khiển kiểu PWM

Với  $m_a > 1$

Với  $m_a > 1$ :

Bộ nghịch lưu làm việc trong vùng quá điều chế.

Với giá trị  $m_a$  đủ lớn, có thể xem như bộ nghịch lưu được điều chế theo kiểu sóng vuông (bộ nghịch lưu kiểu 6 bước). Như đã nêu trong phần trước, với bộ nghịch lưu kiểu 6 bước, trị hiệu dụng hài bậc 1 của điện áp dây ngõ ra bộ nghịch lưu:

$$U_{LL,rms} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} U = 0.78U$$

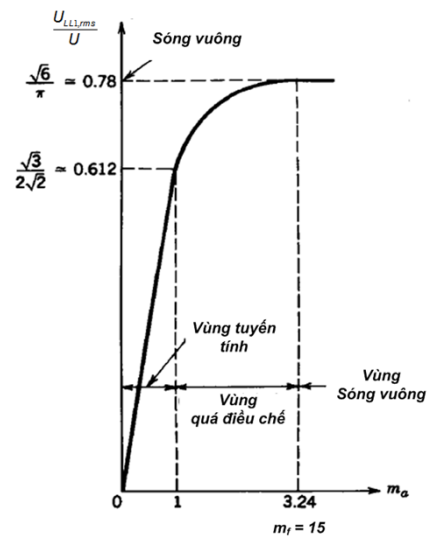
Vậy, trị hiệu dụng hài bậc 1 của điện áp dây ngõ ra bộ nghịch lưu khi biến thiên trong khoảng

$$0.612U \leq U_{LL,rms} \leq 0.78U \quad (m_a > 1)$$

69

## Bộ nghịch lưu 3 pha điều khiển kiểu PWM

Quan hệ giữa hài bậc 1 của áp dây và tỉ số điều chế  $m_a$



70